



(19)

Generated Document.

(11) Publication number:

11150993 A

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(21) Application number: 09318826

(51) Intl. Cl.: H02P 9/00 G05B 13/04 G05B 23/02

(22) Application date: 20.11.97

(30) Priority:  
 (43) Date of application publication: 02.06.99  
 (84) Designated contracting states:

(71) Applicant: HITACHI LTD  
 KANSAI ELECTRIC POWER CO INC:THE  
 (72) Inventor: OGA KOJI  
 MARUYAMA BUICHI  
 MORIGUCHI KAZUO  
 UCHIDA TOMONOBU  
 YAMAMOTO JUN  
 KOMON SHUNJI  
 NAKAGAWA HIROTO  
 HONDA SEIJI

(74) Representative:

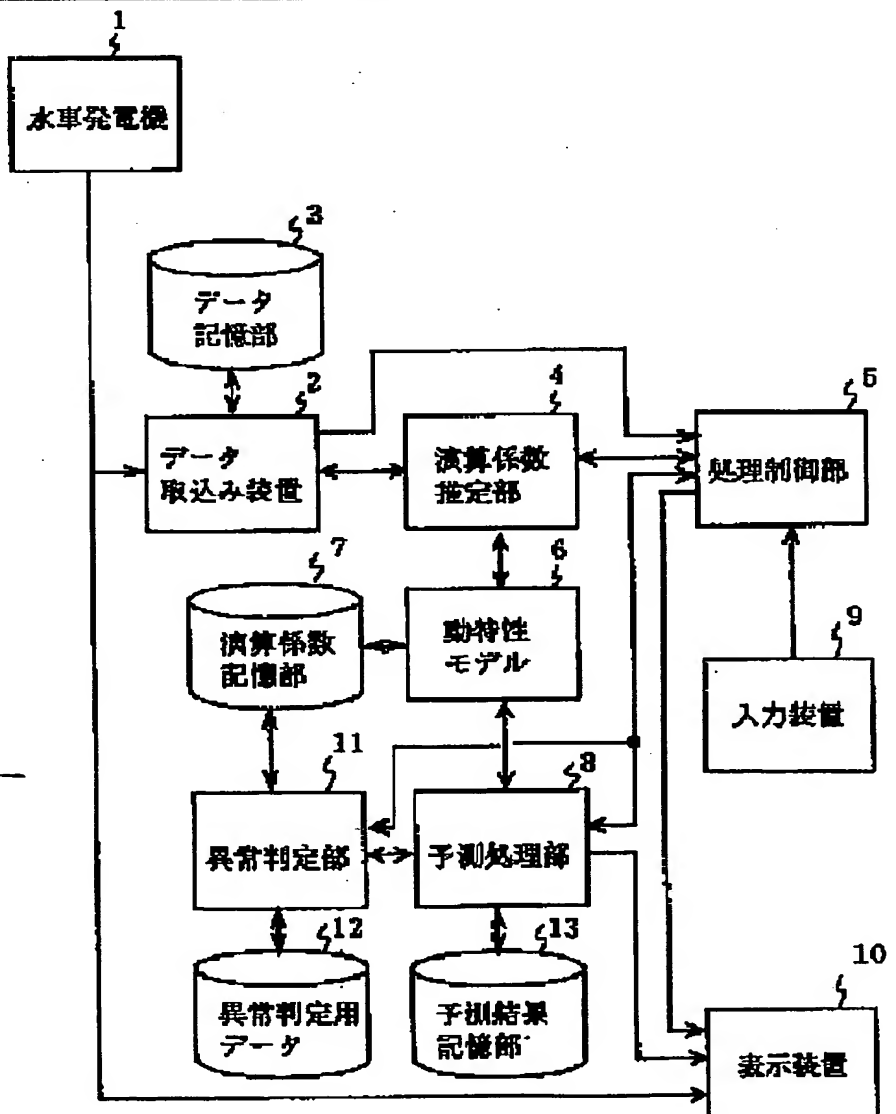
# (54) STATE MONITOR AND MONITORING METHOD FOR TURBINE GENERATOR

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To detect abnormality early in the beginning stage by updating the dynamic characteristic model of a turbine generator based on measurements obtained during operation and determining the future prediction value indicative of the state amount of the turbine generator from a newest model.

**SOLUTION:** A state monitor comprises a data acquisition unit 2 for acquiring measurements of the bearing temperature, rotational speed, the oil temperature, the cooling water temperature and the ambient temperature of a turbine generator, and a section 4 for estimating operational coefficients using a dynamic characteristic model and respective measurements. The dynamic characteristic model is determined when the operational coefficients are determined and when the rotational speed of the turbine generator is provided as boundary conditions, state change can be predicted for the future operation based on a newest dynamic characteristic model. Consequently, prediction results can be obtained for the future state of the state amount related to the bearing, e.g. the bearing temperature, and abnormality can be detected early using the results before the state amount of the plant reaches a limit value.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO



(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 2 P 9/00

H 0 2 P 9/00

B

G 0 5 B 13/04

G 0 5 B 13/04

23/02

23/02

R

G

審査請求 未請求 請求項の数24 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号

特願平9-318826

(22) 出願日

平成9年(1997)11月20日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(71) 出願人 000156938

関西電力株式会社

大阪府大阪市北区中之島3丁目3番22号

(72) 発明者 大賀 幸治

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株式会社日立製作所電力・電機開発本部内

(72) 発明者 丸山 武一

茨城県日立市大みか町五丁目2番1号 株式会社日立製作所大みか工場内

(74) 代理人 弁理士 秋本 正実

最終頁に続く

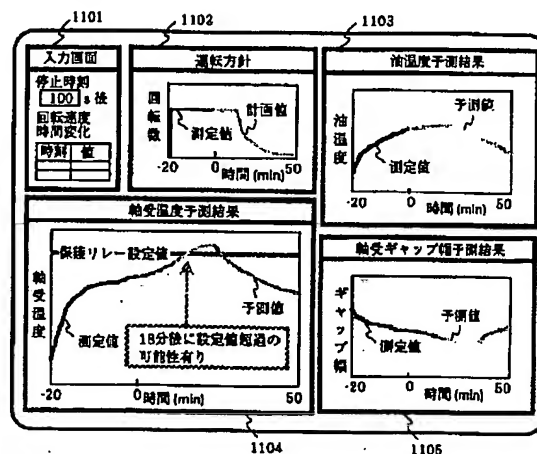
(54) 【発明の名称】 水車発電機の状態監視方法及びその装置

(57) 【要約】

【課題】 水車発電機の軸受温度を予測することにより、異常を早期に検出して運転員を支援する。

【解決手段】 水車発電機の動特性モデルを水車発電機の運転時に得た測定値に基づき最新モデルに更新し、実際の測定値がこの最新モデルから求めた予測値より外れた場合に警報を出力する。これにより、軸が焼損する前に異常を検知でき、事前に焼損事故を回避する運転が可能となる。

【図14】



【特許請求の範囲】

【請求項1】 水車発電機の状態を監視する方法において、水車発電機の動特性モデルを水車発電機の運転時に得た測定値に基づき最新モデルに更新し、該最新モデルから前記水車発電機の状態量の今後の予測値を求め出力することを特徴とする水車発電機の状態監視方法。

【請求項2】 水車発電機の状態を監視する方法において、水車発電機の動特性モデルを水車発電機の運転時に得た測定値に基づき最新モデルに更新し、実際の測定値が前記最新モデルから求めた予測値より外れた場合に警報を出力することを特徴とする水車発電機の状態監視方法。

【請求項3】 水車発電機の状態を監視する方法において、水車発電機の動特性モデルを水車発電機の運転時に得た測定値に基づき最新モデルに更新し、該最新モデルから求めた予測値がある時間経過後に設定値を越える場合に警報を出力することを特徴とする水車発電機の状態監視方法。

【請求項4】 水車発電機の状態を監視する方法において、水車発電機の動特性モデルを水車発電機の運転時に得た測定値に基づき最新モデルに更新し、該最新モデルを用いた水車発電機のシミュレーション結果を出力することを特徴とする水車発電機の状態監視方法。

【請求項5】 水車発電機の状態を監視する方法において、水車発電機の動特性モデルを水車発電機の運転時に得た測定値に基づき最新モデルに更新し、該最新モデルに含まれるパラメータの値を変更したときに得られる水車発電機のシミュレーション結果を出力することを特徴とする水車発電機の状態監視方法。

【請求項6】 請求項1乃至請求項5のいずれかにおいて、前記予測値の出力または前記警報の出力またはシミュレーション結果の出力は、監視画面への表示で行うことを特徴とする水車発電機の状態監視方法。

【請求項7】 水車発電機の状態を監視する方法において、水車発電機の動特性モデルを水車発電機の運転時に得た測定値に基づき最新モデルに更新し、水車発電機の測定できない状態量の予測値を該最新モデルから求め、該予測値を設定値と比較して該状態量の監視を行うことを特徴とする水車発電機の状態監視方法。

【請求項8】 請求項1乃至請求項7のいずれかにおいて、最新モデルへの更新は、更新指令の入力直前の前記測定値または前回の水車発電機の運転時に得た測定値に基づき行うことを特徴とする水車発電機の状態監視方法。

【請求項9】 請求項1乃至請求項8のいずれかにおいて、最新モデルへの更新は、水車発電機の軸受温度に係る発熱量と冷却量との二つの量の関係を基に、該発熱量と該冷却量に係るモデルの演算係数を調整して軸受温度を計算し、その計算結果と測定軸受温度との差が小さくなるように前記演算係数の値を決定することを特徴とする

水車発電機の状態監視方法。

【請求項10】 請求項9において、更新した最新モデルから、軸受温度、軸受の潤滑油温度、軸温度、軸受ギャップ幅の少なくとも1つの今後の変化を予測することを特徴とする水車発電機の状態監視方法。

【請求項11】 請求項1乃至請求項10のいずれかにおいて、最新モデルから求めた予測値および/または該予測値に対応する測定値を画面に表示することを特徴とする水車発電機の状態監視方法。

【請求項12】 水車発電機の状態を監視する方法において、水車発電機の測定できない状態量の推定値を該水車発電機の運転時に得た測定値に基づいて求め、該推定値の変化を監視して前記状態量の監視を行うことを特徴とする水車発電機の状態監視方法。

【請求項13】 水車発電機の状態を監視する状態監視装置において、水車発電機の動特性モデルを水車発電機の運転時に得た測定値に基づき最新モデルに更新する手段と、該最新モデルから前記水車発電機の状態量の今後の予測値を求める手段と、該予測値を出力する手段とを備えることを特徴とする水車発電機の状態監視装置。

【請求項14】 水車発電機の状態を監視する状態監視装置において、水車発電機の動特性モデルを水車発電機の運転時に得た測定値に基づき最新モデルに更新する手段と、実際の測定値が前記最新モデルから求めた予測値より外れた場合に警報を出力する手段とを備えることを特徴とする水車発電機の状態監視装置。

【請求項15】 水車発電機の状態を監視する状態監視装置において、水車発電機の動特性モデルを水車発電機の運転時に得た測定値に基づき最新モデルに更新する手段と、該最新モデルから求めた予測値がある時間経過後に設定値を越える場合に警報を出力する手段とを備えることを特徴とする水車発電機の状態監視装置。

【請求項16】 水車発電機の状態を監視する状態監視装置において、水車発電機の動特性モデルを水車発電機の運転時に得た測定値に基づき最新モデルに更新する手段と、該最新モデルを用いた水車発電機のシミュレーション結果を出力する手段とを備えることを特徴とする水車発電機の状態監視装置。

【請求項17】 水車発電機の状態を監視する状態監視装置において、水車発電機の動特性モデルを水車発電機の運転時に得た測定値に基づき最新モデルに更新する手段と、該最新モデルに含まれるパラメータの値を変更したときに得られる水車発電機のシミュレーション結果を出力する手段とを備えることを特徴とする水車発電機の状態監視装置。

【請求項18】 請求項13乃至請求項17のいずれかにおいて、前記予測値を出力する手段または前記警報を出力する手段またはシミュレーション結果を出力する手段は、監視画面への表示で出力を行うことを特徴とする水車発電機の状態監視装置。

【請求項 19】 水車発電機の状態を監視する状態監視装置において、水車発電機の動特性モデルを水車発電機の運転時に得た測定値に基づき最新モデルに更新する手段と、水車発電機の測定できない状態量の予測値を該最新モデルから求める手段と、該予測値を設定値と比較して該状態量の監視を行う手段とを備えることを特徴とする水車発電機の状態監視装置。

【請求項 20】 請求項 13 乃至請求項 19 のいずれかにおいて、最新モデルへの更新は、更新指令の入力直前の前記測定値または前回の水車発電機の運転時に得た測定値に基づき行うことを特徴とする水車発電機の状態監視装置。

【請求項 21】 請求項 13 乃至請求項 20 のいずれかにおいて、最新モデルへの更新は、水車発電機の軸受温度に係る発熱量と冷却量との二つの量の関係を基に、該発熱量と該冷却量に係るモデルの演算係数を調整して軸受温度を計算し、その計算結果と測定軸受温度との差が小さくなるように前記演算係数の値を決定することを特徴とする水車発電機の状態監視装置。

【請求項 22】 請求項 21 において、更新した最新モデルから、軸受温度、軸受の潤滑油温度、軸温度、軸受ギャップ幅の少なくとも 1 つの今後の変化を予測することを特徴とする水車発電機の状態監視装置。

【請求項 23】 請求項 13 乃至請求項 22 のいずれかにおいて、最新モデルから求めた予測値および／または該予測値に対応する測定値を画面に表示することを特徴とする水車発電機の状態監視装置。

【請求項 24】 水車発電機の状態を監視する状態監視装置において、水車発電機の測定できない状態量の推定値を該水車発電機の運転時に得た測定値に基づいて求める手段と、該推定値の変化を監視して前記状態量の監視を行う手段とを備えることを特徴とする水車発電機の状態監視装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は水車発電機の状態監視方法及びその装置に係り、特に、水車の軸受温度の変化を事前に推定予測し予測結果を基に軸受の正常／異常を判定する水車発電機の状態監視方法及びその装置に関する。

【0002】

【従来の技術】水力発電プラントの発電容量が大型化すると、事故が発生したときの電力系統に及ぼす影響が大きくなる。このため、発電所設備の運転状況を常時監視し、電力系統に影響を与える重大事故の発生を未然に防止する技術の開発が必要となる。

【0003】水力発電所では、水車発電機の軸振動や軸受温度などが監視の必要なプロセス量とされ、従来から、軸受温度は監視されている。これは、異物などが軸受に混入すると軸受が焼損する事故が発生する可能性が

あるため、軸受温度の上昇を焼損前に検出するためである。

【0004】これに関連する従来技術として、例えば、「水力発電所状態監視システム」（三菱電機技報、Vol. 63、No. 12、1980年刊行）がある。この従来技術では、プラントから軸受温度の測定値を取り込み、予め定めた制限値を用いて軸受温度の絶対値、軸受温度の変化率および各軸受パッドの温度差などを監視し、軸受温度の異常／正常の判定を実施している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上述した従来技術によれば、軸受温度の測定値が制限値を越えた時点で異常が発生したと判定している。しかし、測定値が制限値を越えたか否かで監視するだけでは、制限値を超えた時点で水車発電機を停止しようとしても、水車発電機の大きな慣性のため急停止できず、更に温度上昇が進んで焼損事故に至る虞があり、焼損事故防止が困難なケースの発生が想定される。

【0006】本発明の目的は、軸受温度上昇など水車発電機に係る異常を徴候段階で早期に検出できる水車発電機の状態監視方法及びその装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的は、水車発電機の状態を監視する方法において、水車発電機の動特性モデルを水車発電機の運転時に得た測定値に基づき最新モデルに更新し、該最新モデルから前記水車発電機の状態量の今後の予測値を求め出力することで、達成される。

【0008】上記目的はまた、水車発電機の状態を監視する場合に、水車発電機の動特性モデルを水車発電機の運転時に得た測定値に基づき最新モデルに更新し、実際の測定値が前記最新モデルから求めた予測値より外れた場合に警報を出力することで、達成される。

【0009】上記目的はまた、最新モデルから求めた予測値がある時間経過後に設定値を越える場合に警報を出力することでも、達成される。

【0010】上記目的はまたは、水車発電機の測定できない状態量の予測値を前記最新モデルから求め、該予測値を設定値と比較して該状態量の監視を行うことでも、達成される。

【0011】上記目的は、好適には、最新モデルへの更新は、更新指令の入力直前の前記測定値または前回の水車発電機の運転時に得た測定値に基づき行うことで、達成される。

【0012】上記目的は、好適には、水車発電機の軸受温度に係る発熱量と冷却量との二つの量の関係を基に、該発熱量と該冷却量に係る演算係数を調整して軸受温度を計算し、その計算結果と測定軸受温度との差が小さくなるように前記演算係数の値を決定することで、最新モデルに更新することで、達成される。

【0013】上記目的は、好適には、最新モデルから求

めた予測値および／または該予測値に対応する測定値を画面に表示することで、達成される。

【0014】本発明によれば、軸受温度などの測定値が制限値に至る前に、予測結果から、軸受温度などの異常な変化を検出することができる。また、さらに、発熱能力と冷却能力に関連する演算係数の推定値を用いて、水車発電機の軸受などに生じた異常を、それらが温度変化などに大きく影響を与える前に、早期に検出することが可能となる。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施形態を図面を参照して説明する。図1は本発明の一実施形態に係る水車発電機の状態監視装置のブロック構成図である。図1において、1は水車発電機、2は水車発電機からの測定データを取り込むデータ取込み装置、3は取り込んだ測定データを記憶するデータ記憶部である。4は演算係数推定部であり、データ記憶部3に記憶されたデータと、水車発電機1の動特性を模擬する動特性モデル6とを用い、動特性モデル6に含まれる発熱及び除熱に係る演算係数の値を推定する。演算係数については図4で説明する。推定された演算係数の値は、演算係数記憶部7に記憶され、この値を用いて、予測処理部8により、軸受温度の予測を実施する。この予測結果は、予測結果記憶部13に記憶される。

【0016】5は処理制御部であり、演算係数推定部4と予測処理部8と表示装置10への表示処理とを制御する。また、入力装置9は、運転員等のユーザが、処理や表示に係る入力を実施するための入力装置である。11は異常判定部であり、演算係数記憶部7に格納された演算係数値、予測処理部8からの予測結果および異常判定用データを用いて、水車発電機の異常を判定する。

【0017】図2は、水車発電機の概要を説明する図である。図2に示すように、水車発電機は、発電機のロータ20と水車ランナ21とが一本の軸22に固定されており、これらが一体に回転する。この軸22を支えると共に、回転を円滑にするために、上部軸受23と、下部軸受24と、スラスト軸受25と、水車軸受26の各軸受が設けられている。

【0018】水車軸受26には、軸受26と軸22の間の軸受ギャップ27で発生する熱を除去するために、油槽28が設置されている。また、冷却管29が油中に設けられており、軸受ギャップ27から油槽28内の油に伝わった熱を冷却水で除去する構成となっている。

【0019】尚、水車軸受26を例に油槽を用いた除熱機構を図示したが、他の軸受23、24、25にも同様の除熱機構を設けてある。

【0020】図3は、図2に示した水車発電機での軸受温度に関連する主要な因子を整理して示す図である。図のように、軸受温度は、軸受ギャップで発生する熱つまり発熱量と、軸受から除去される熱つまり除熱量との関

係で決定される。発熱量を決める主要因子としては、軸受のギャップ幅、水車発電機の回転数および油温度がある。一方、除熱量に関連する因子としては、冷却管等での熱伝導・熱伝達に係る係数である熱通過率、油温度、冷却水温、軸温度などが挙げられる。

【0021】図4は、これらの因子の間の関係を分析し関連づけた動特性モデルであり、軸受ギャップ幅、回転速度および油槽の潤滑油の温度から決まる油粘度に依存して決まる発熱量と、冷却水、周囲の空気による除熱量などの関連が表現されている。この動特性モデルにおいては、測定値と、測定できないモデル内部での状態の関連が示されている。また、この動特性モデルでは、測定値から直接には決定できない冷却管の熱通過率、軸温度の初期値およびギャップ幅基準値を、発熱および除熱に関連する演算係数として扱っている。

【0022】水車発電機は、電力需要の変化に対応すべく原子力発電や火力発電に比べて頻繁に起動・停止を繰り返す。そこで、水車発電機の運転中に得られた測定値を基に、前述した各演算係数の値を、推定して決定する。つまり、運転中に得た測定データに基づいてモデルを最新のモデルに更新する。そして、この最新のモデルを用いて、今後の水車発電機の軸受温度、油温度などの状態変化を予測する。なお、演算係数については、発熱量あるいは除熱量に関連し、測定値から直接には決定できない量を、任意に選択することが可能である。例えば、本実施形態の装置では、定数として扱っている軸受パッド面での熱通過率を演算係数として扱うことも同様に可能である。本実施形態では、除熱量、発熱量への影響の大きな三つの状態量を演算係数として選択した。

【0023】図5は、上述した実施形態に係る状態監視装置における処理の概要を説明する図である。この状態監視装置では、軸受温度、回転速度、油温度、冷却水温度、水車発電機の周囲環境の温度についての各測定値を、データ取り込み装置2によって取り込む。この後、動特性モデルと各測定値を用い、演算係数推定部4において、上述した各演算係数の値（ギャップ幅基準値、冷却管熱通過率および軸温度初期値）を推定する。これらの演算係数の値が決定すれば、動特性モデルは確定し、境界条件として、水車発電機の回転速度を与えることにより、最新の動特性モデルに基づいて今後の運転における状態変化を予測することができる。予測結果としては、図4の動特性モデルに含まれる状態量に係る結果が得られる。つまり、軸受温度、油温度、軸温度および軸受ギャップ幅などの状態変化が予測できる。

【0024】図6は、上述した演算係数推定部で行う処理を示すフローチャートである。演算係数推定部4（図1）では、処理開始命令が入力されたか否かを周期的に判定する（ステップ101）。この処理開始命令は、ユーザからデマンドとして入力されるか、若しくは、処理制御部5によって自動的に入力される。自動的な処理開始

命令は、例えば、予め設定した周期で発生する。

【0025】処理開始命令が入力されると、データ記憶部3から、時刻 $t_0$ ～時刻 $t_s$ までの測定データを取り込む（ステップ102）。ここで、時刻 $t_s$ は、処理開始命令が入った時点の時刻、時刻 $t_0$ は、予め定めたデータ取り込み時間だけ、時刻 $t_s$ よりも前の時刻である。次いで、動特性モデルの演算係数の値を仮定し（ステップ103）、時刻 $t_0$ ～時刻 $t_s$ までの、軸受温度及び油温度などの変化を動特性モデルにより計算する（ステップ104）。

【0026】この動特性モデルでの計算処理（ステップ104）の処理手順を図7に示す。まず、時刻 $t$ を $t_0$ に設定する（ステップ201）。次いで、測定値及び仮定した演算係数の値を用いて、動特性モデルの初期値を設定する（ステップ202）。図4の動特性モデルは、油温度 $T_o$ 、軸温度 $T_A$ 、軸受温度 $T_J$ についての3つの一階時間微分方程式により表現される。初期値の設定では、これら油温度 $T_o$ 、軸受温度 $T_A$ 、軸温度 $T_J$ の値とその時間微分値を設定する。

【0027】設定された初期値を用いて、 $\delta t$ 後の油温度 $T_o$ 、軸受温度 $T_A$ および軸温度 $T_J$ の値を計算する（ス

テップ203）。この計算では、時刻 $t$ での値に、時刻 $t$ での各状態量の時間微分値に時間ステップ幅 $\delta t$ を掛けた値を加えることにより、時刻 $t + \delta t$ での状態量の値を計算する。この方法は、時間微分方程式を用いて、状態量の時間変化を計算するために、良く用いられるものであり、通常オイラー法と呼ばれる。

【0028】次いで、ステップ203で計算した、時刻 $(t + \delta t)$ での各状態量の値を用いて、時刻 $(t + \delta t)$ での、各状態量の時間微分値を計算する（ステップ204）。次に、時刻 $t$ が、計算終了時刻 $t_E$ 以上となったか否かを判定し（ステップ205）、条件が成立すれば処理を終了する。一方、未だ、時刻 $t_E$ 以上になっていない場合には、時刻 $t$ を $t + \delta t$ に設定して（ステップ206）、ステップ203からの処理を繰り返して実行する。ここで、計算終了時刻 $t_E$ は、演算係数推定では、処理命令が入力された時刻 $t_s$ に設定する。

【0029】上述したステップ104の計算手順が終了すると、次に図6のステップ105に進み、この計算値と測定値を用いて、その差 $J$ を次の数1により、計算する。

【0030】

【数1】

【数1】

$$J = \sum_{i=1}^I \{ \beta_1 (T_o(t_i) - T_o^*(t_i))^2 + \beta_2 (T_A(t_i) - T_A^*(t_i))^2 \}$$

ここで

$J$ ：目的関数

$I$ ：測定値と計算値の差を計算する際の分割数

$T_A$ ：軸受温度(℃)

$T_o$ ：油温度(℃)

$\beta_1, \beta_2$ ：目的関数の計算に用いる重み係数

$*$ ：測定値

【0031】この差 $J$ は、図8に示すように、状態量について、動特性モデルで計算した値と、プラントの測定値との差を示す量となる。つまり、数1は、油温度と軸受温度についての計算値と測定値との差を示す量となる。ここでは、油温度と軸受温度の両方を目的関数の計算に使用した。しかし、いずれか一方、例えば軸受温度のみを目的関数の計算に用いることも同様に可能である。即ち、測定値と計算値の両方が求まる状態量を使用すれば、目的関数を計算することができる。

【0032】演算係数推定部では、図6のように、この差 $J$ を最小とする演算係数の値を求める（ステップ106）。本実施形態に係る状態監視装置では、演算係数値を求めるために、非線形最適化手法として良く知られている最急降下法を使用している。つまり、計算値と測定値との差 $J$ を目的関数として、この値を最小とする演算係数値を、最急降下法により決定する。

【0033】図9に、この方法を概念的に示す。図9では、2次元空間、即ち、演算係数が二つある場合の最適化の様子を示している。最適化では、初期の探索点として $P_0$ を与える。この点は、図6のステップ103で仮定した演算係数の値に対応するものである。この点 $P_0$ での勾配 $\nabla J$ を計算し、 $-\nabla J$ の方向、即ち目的関数値が最も減少する方向に、一次元探索を実施して、この方向に沿った線上で、目的関数値 $J$ が最小となる点を求める。次いで、この点での勾配を計算し、この方向に一次元探索を実行する。目的関数 $J$ の値が改善されなくなるまで、同様の処理を繰り返して、最適点を求める。この最適点の座標値が、目的関数を最小とする変数値に対応する。

【0034】図10は、この最適化処理の処理手順を示すフローチャートである。まず、仮定した演算係数値を初期値として設定する（ステップ301）。次いで、こ

の演算係数の値に対応する探索空間の点、即ち初期探索点における目的関数値 $J$ 及びその勾配 $\nabla J$ を計算する（ステップ302）。最も目的関数値が減少する方向、即ち $-\nabla J$ の方向に、一次元探索を実施して、目的関数値 $J$ が最小となる点を求める（ステップ303）。この結果を基に、目的関数値 $J$ が、終了条件として予め与えた値 $\varepsilon$ よりも小さくなったか否かを判定する（ステップ304）。小さくなった場合には、演算係数の値を決定して処理を終了する（ステップ306）。一方、 $J$ が $\varepsilon$ 以上の場合には、一次元探索で求めた点の座標に対応して、演算係数の値を修正して（ステップ305）、ステップ302からの処理を繰り返す。

【0035】このように、図6のステップ106で演算係数の値が決定すると、次のステップ107では、演算係数の値を演算係数記憶部7に記憶し、演算係数の推定が終了したことを処理制御部5に通知する。

【0036】次に、演算係数の推定結果を用いて、状態量の今後の変化を予測する予測処理部8での処理について説明する。図11は、予測処理部での処理を示すフローチャートである。予測処理部では、処理制御部5からの処理開始命令が入力されたか否かを周期的に判定する（ステップ401）。この処理開始命令は、例えば、演算係数推定部4から演算係数の推定処理の終了通知が処理制御部5に入った時点で、処理制御部5から出力される。

【0037】処理開始命令が入力されると、まず、演算係数記憶部7から、演算係数の値を読み込む（ステップ402）。次いで、データ記憶部3から、時刻 $t_0$ での測定データの値を取り込み（ステップ403）、この値と演算係数の値とを用いて、動特性モデルの初期値を設定する（ステップ404）。次に、回転速度の変化および予測の終了時刻 $t_E$ を処理制御部から取り込み（ステップ405）、時刻 $t_E$ までの状態量変化を計算する（ステップ406）。この計算は、図7に示す方法により、実施する。計算が終了した後、状態量変化についての予測結果を、表示装置10に出力する。また、予測計算が終了した旨を、処理制御部5に通知する（ステップ408）。

【0038】図12は、処理制御部5での処理手順を示すフローチャートである。処理制御部では、予測要求が入力された場合（ステップ501）、あるいは、自動的に予測処理を実行する時刻（ステップ502）もしくはプラント状態となった場合（ステップ503）に、演算係数の推定部に処理開始命令を出力する（ステップ504）。ここで、予測処理の自動的な実行については、実行周期、実行時刻、実行すべきプラント状態などを予め与えておく。一方、演算係数の推定終了信号が、演算係数推定部4から入力された場合（ステップ601）に、予測処理部8に予測開始命令を出力する（ステップ602）。

【0039】処理制御部5では、この他の処理として、演算係数推定部4、予測処理部8の動作状況を基に、異常判定部11への処理命令を送信する。この異常判定に

係る処理については、後で説明する。

【0040】図13は、状態予測に係る動作の様子を示す図である。この図13は、本実施形態に係る状態監視装置の動作に従った軸受温度についてのプラント測定値とモデル計算値を比較したグラフである。図では、時点 $t_S$ で、演算係数推定部4へ処理開始命令が入った状況を示している。この処理開始命令が入ると、演算係数推定部は、逐次測定され記憶装置に格納されている測定データのうち、処理開始命令の入力直前の時刻 $t_0 \sim t_s$ までの測定データを取り込む。そして、動特性モデルの演算係数の初期値を仮定し、時刻 $t_0$ でモデルを初期化した後、時刻 $t_0$ から $t_s$ までの軸受温度、油温度の変化を動特性モデルにより計算する。この結果を示したのが、図13の1001のグラフである。

【0041】この結果1001とプラント測定値1002との差を、時刻 $t_0$ から $t_s$ までの時間で最小化するように、発熱量と除熱量に係る演算係数を推定する。その演算係数を用いて、動特性モデルにより計算した結果が、図のグラフ1003である。このように、時刻 $t_0$ から $t_s$ までの測定値とモデル計算値の差は小さくなる。また、動特性モデルでの計算を時刻 $t_E$ まで延長することにより、軸受温度の予測結果が図のように得られる。

【0042】図14は、本実施形態に係る状態監視装置の表示画面の例を示す図である。この図において、1101は、運転員が今後の運転方針すなわち水車発電機の停止時刻あるいは回転速度の時間変化を入力するためのウィンドウであり、本実施形態では、最新モデルによる水車発電機のシミュレーションを行うにあたり、このウィンドウ1101を用いて、運転員は現時点以降の水車発電機の運転方針すなわち回転速度の変化方針を入力する。ここで、停止時刻この図示の例で100秒後に停止することを入力した場合には、停止時刻までは一定の回転数で、それ以降は予め用意した回転速度の変化カーブを基に、動特性モデルへの回転数の入力値を決定する。動特性モデルに与えられた回転速度の変化状況は、ウィンドウ1102に表示される。このウィンドウ1102には、現時点までの回転速度の測定値も併せて表示される。

【0043】動特性モデルでの予測の結果、油温度、軸受温度の予測結果が得られる。図14の例では、油温度の予測結果と現時点までの測定値が併せて、ウィンドウ1103に表示される。軸受温度についても同様にウィンドウ1104のように表示される。このウィンドウにおいては、温度予測値に加えて、保護リレーの設定値が表示されており、軸受温度が保護リレー設定値を超過するような場合には、図のように、運転員に対して警告が表示される。これにより、運転員は、今後、軸受温度が保護リレーの設定値を越える可能性があること及びそれまでの時間余裕は何分くらいあるかということを知ることができる。ここで、軸受温度の予測値が保護リレーなどの設定値を超えるか否かの判定は、異常判定部11において



実施される。異常判定部 11 では、予測結果が得られたことを、処理制御部 5 からの情報を基に判定し、予測結果と異常判定用データ 12 に用意された異常判定用の設定値を用い、軸受温度の異常を判定する。その結果が、処理制御部 5 を介して、図 14 のように表示装置 10 に表示される。

【0044】本実施形態に係る状態監視装置では、温度変化に加えて、軸受ギャップでの発熱量を決定する主要因子である軸受ギャップ幅についての予測結果も得られる。この結果が図 14 のウィンドウ 1105 のように示され、運転員はギャップ幅の変化を知ることができる。これにより、測定できない軸受ギャップ幅の変化が正常か異常かの判断を運転員はすることができる。

【0045】異常判定部 11 における異常判定処理について、上に一例を示したが、次に、異常判定部で実施する他の異常判定処理について説明する。図 15 は、異常判定方法の一つを、水車発電機の起動時を例にとり示すものである。この方法では、前回のプラント運転でのデータを基に求めた演算係数値のうち、ギャップ幅基準値と冷却管熱通過率を用いて、プラントの起動時の軸受温度などの状態量を予測する。軸温度初期値については、演算係数値を推定した時点とは一般に異なるため、軸受温度の測定値を代わりに用いる。これは、水車発電機の停止時において軸温度と軸受温度の差は小さいという仮定に基づいている。この予測結果とプラントからの測定値を逐次比較し、予測結果と測定値との差  $\Delta T$  が、予め定めた判定基準値を超えた時点で、異常と判定する。

【0046】この方法では、前回のプラント運転での測定データを用いて推定した演算係数値を使用するため、今回の起動時には演算係数値を求めるための測定データを収集する必要がなく、起動後短時間のうちに予測計算を開始することが可能である。そのため、起動直後の異常発生などに対応することができる。また、前回の運転データに基づく演算係数値を用いれば、前回の運転時のプラント状態との差を検出することができる。つまり、前記した時刻  $t_0$  から  $t_s$  までの測定データに基づく演算係数値を用いた予測を、周期的に繰り返す方法では、演算係数の値が、その時のプラント状態を反映して決まる。即ち、異常が発生した場合には、異常時のプラント特性を表す値が演算係数に設定され、モデルは異常状態に適応して変化することになる。

【0047】この方法は、軸受温度などの将来状態を正確に予測する上では、有効である。しかし、正常状態からの逸脱を検知する観点では、図 15 に示した方法の方が有効である。つまり、前回の運転時のプラント状態を正常と仮定し、これに基づく予測結果を正常な軸受温度の変化と考え、この正常変化と異なる変化が現われた時点で、異常の発生を検出することができる。

【0048】この方法では、前回の運転データに基づく演算係数の値として、前記した、時刻  $t_0 \sim t_s$  のデータ

を用いて求めた演算係数値の運転状態での最終値、すなわち、停止操作直前の演算係数値を用いることができる。また、前回の起動時から停止直前までに得られた運転データのうちの一部を選び、それを基に、演算係数値を求めて使用することも可能である。例えば、起動時から停止直前までの全運転時間での測定データを基に推定した演算係数値を使用することも可能である。また、軸受温度の上昇速度が低下し、ほぼ温度が飽和した時間でのデータを基にした演算係数値を使用することも可能である。これらの中から、水車発電機の特性に応じて適切な方式を選択することにより、精度の良い異常判定が実施可能となる。

【0049】ここで、例えば、起動時から停止直前までの全運転時間での測定データを基に求めた演算係数値を使用する場合には、演算係数の推定処理を、水車発電機の停止要求信号が入った時点で、処理制御部 5 からの処理要求を演算係数推定部 4 に出力することにより実施する。また、予測の処理は、この後、水車発電機の起動要求信号が入った時点で、処理制御部 5 からの処理要求を、予測処理部 8 に出力することにより実施する。

【0050】これまでは、水車発電機の起動時についての状態予測および異常判定について述べた。これと同様の処理は、水車発電機の停止過程でも同様に実施可能である。図 16 は、水車発電機の停止過程での異常判定方法を示すものである。図に示すように、図 15 と同様に、前回の運転データ、即ち前回運転の停止過程での測定データから推定した演算係数値を用いた予測を、水車発電機の停止要求信号をトリガーに実施し、この予測結果と測定値との差を逐次監視することによって、水車発電機の異常を検出することが可能である。この場合にも、前回のプラント運転でのデータを基に求めた演算係数値のうち、ギャップ幅基準値と冷却管熱通過率を用いて、プラントの起動時の軸受温度などの状態量を予測する。軸温度初期値については、演算係数値を推定した時点とは、一般には異なるため、軸受温度の測定値を代わりに用いる。

【0051】ここでは、前回の停止過程での運転データに基づく演算係数値を用いた場合を示したが、今回の運転における起動後から停止直前までの測定データの内、適当な時間のデータを基に演算係数値を求め、それを用いて、停止過程の予測を実施して異常検知することも同様に可能である。また、今回の運転の停止過程の最中において、直前に得た測定データを基に演算係数値を求め、今回の停止過程のそれ以後の予測を実施して異常を検知することも可能である。

【0052】次に、もう一つの異常検出方法について述べる。本実施形態に係る状態監視装置では、軸受ギャップ幅に係る演算係数として、ギャップ幅基準値を求めている。この状態量は、温度変化による軸受ギャップ幅変化が無い場合、即ちプラントが冷温停止している場合の



ギャップ幅に相当する量である。この推定値を用いて、図17のような異常検出ができる。つまり、軸の周りに設置された複数の軸受の内、1つ又は複数の適当なものを選択して、これについてのギャップ幅基準値を記憶しておく。その変化を監視することにより、軸受ギャップ幅の変化状況、つまり、軸の傾きや軸受のずれ、変形などを検出することが可能となる。

【0053】以上述べたごとく、本実施形態によれば、軸受に関連する軸受温度などの状態量の将来状態についての予測結果を得ることができる。この結果を用いて、プラントの状態量が制限値などに至る前に、異常を早期に検出することが可能である。また、過去の正常な運転状態を基にしたモデルでの推定予測結果を、逐次測定データと比較することにより、正常な状態からの逸脱を早期に検出することができる。さらに、軸受ギャップ幅基準値などの演算係数の変化履歴を基に、軸受の変形、軸の変形などを検出することが可能である。

【0054】上述した実施形態における演算係数の決定では、演算係数を使用して計算した結果と測定データとの差を小さくするように最適化手法を実施しており、簡単な処理による決定が可能である。また、軸受に係る状態量として、軸受温度、油温度に加え、測定されていない軸温度や軸受ギャップ幅や冷却管熱通過率などの変化状況を、運転員などに表示することが可能である。これにより、運転員へ有効な情報を提供でき、運転員の運転方針の決定などを支援することが可能となる。

【0055】尚、上述した実施形態では、測定値に基づいてモデルを最新モデルに更新し、この最新モデルを用いて水車発電機のシミュレーションを行う例について述べたが、更新した最新モデルに含まれる熱通過率などのパラメータの値を変えてオフラインでシミュレーションし、パラメータ変化に対する軸受温度の変化などを予測し、プラントの特性についての知見を得たり、プラント特性変化の原因を検討するのに使用することも可能である。

【0056】

【発明の効果】本発明によれば、水車発電機の軸受などに係る異常を、異常が顕在化する前の徴候段階で精度良く検出でき、運転員に提示することが可能となる。また、軸受温度、油温度などの予測結果、さらに、測定されていない軸温度、軸受ギャップ幅や冷却管熱通過率などの変化状況を、運転員などに表示することも可能となる。このような情報を基に、運転員は異常事象を早期に認知でき、異常発生時のプラントの運転方針を簡単かつ迅速に立案して、プラントの安全性、健全性を保つための対応操作を確実かつ迅速に実行することが可能とな

る。これにより、水力発電プラントの経済性、安全性を大きく改善することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態に係る状態監視装置のブロック構成図である。

【図2】水車発電機の構造を示す模式図である。

【図3】軸受温度に関連する因子を整理した模式図である。

【図4】図1に示す状態監視装置で使用する動特性モデルを示すブロック図である。

【図5】図1に示す状態監視装置での処理の概要を示す模式図である。

【図6】図1に示す演算係数推定部での処理を示すフローチャートである。

【図7】動特性モデルに係る計算での処理を示すフローチャートである。

【図8】目的関数の計算方法を示す模式図である。

【図9】最適化方法を示す模式図である。

【図10】最適化の処理を示すフローチャートである。

【図11】図1に示す予測処理部での処理を示すフローチャートである。

【図12】図1に示す処理制御部での処理を示すフローチャートである。

【図13】図1に示す状態監視装置の動作例を示す模式図である。

【図14】図1に示す状態監視装置の画面表示例を示す模式図である。

【図15】図1に示す状態監視装置の軸受温度の異常判定方法を示す模式図である。

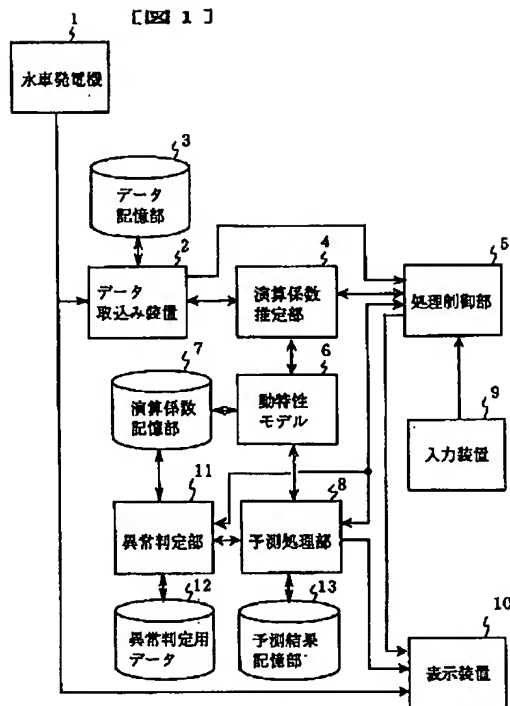
【図16】図1に示す状態監視装置の軸受温度の異常判定方法を示す模式図である。

【図17】軸受ギャップの異常検出方法を示す模式図である。

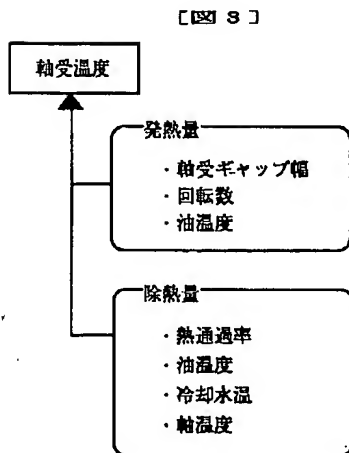
【符号の説明】

1…水車発電機、2…データ取込み装置、3…データ記憶部、4…演算係数推定部、5…処理制御部、6…動特性モデル、7…演算係数記憶部、8…予測処理部、9…入力装置、10…表示装置、11…異常判定部、12…異常判定用データ、13…予測結果記憶部、101～108…処理のステップ、201～206…処理のステップ、301～306…処理のステップ、401～408…処理のステップ、501～504…処理のステップ、601、602…処理のステップ、1001…モデル計算値、1002…プラント測定値、1003…モデル計算値、1101～1105…表示ウィンドウ。

【図 1】

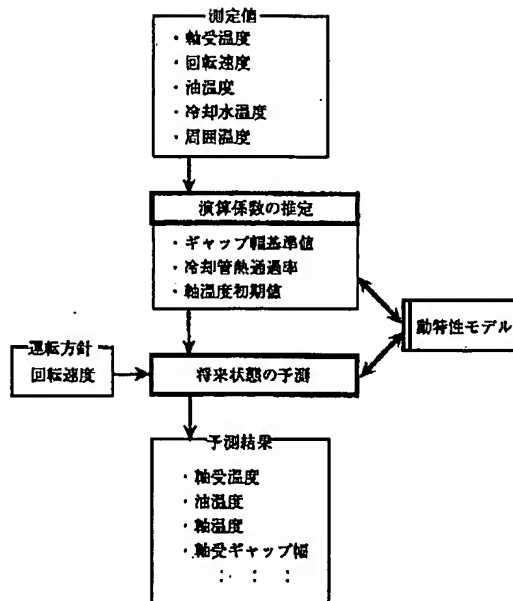


【図 3】



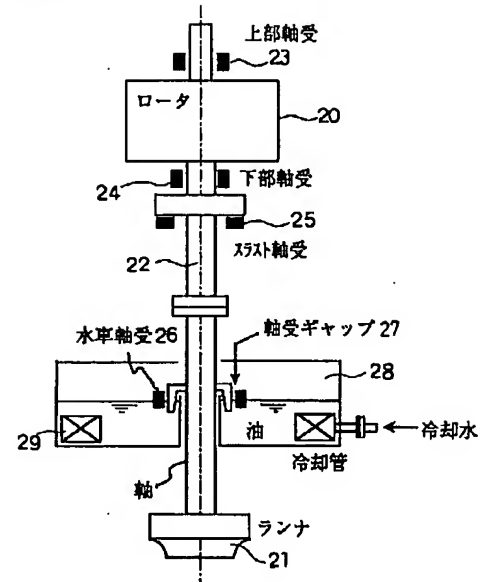
【図 3】

【図 5】



【図 2】

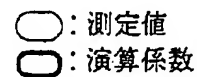
【図 2】



【図 5】

【图 4】

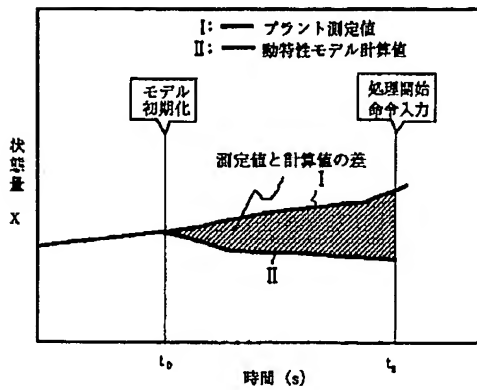
[图 4]



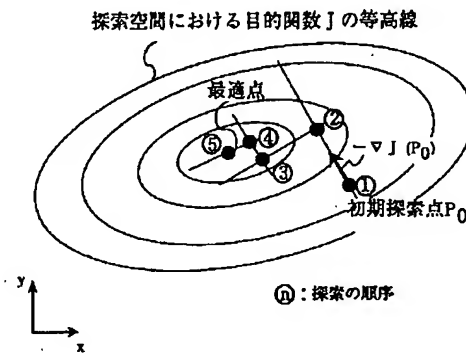
【図8】

【图9】

[ 8 ]

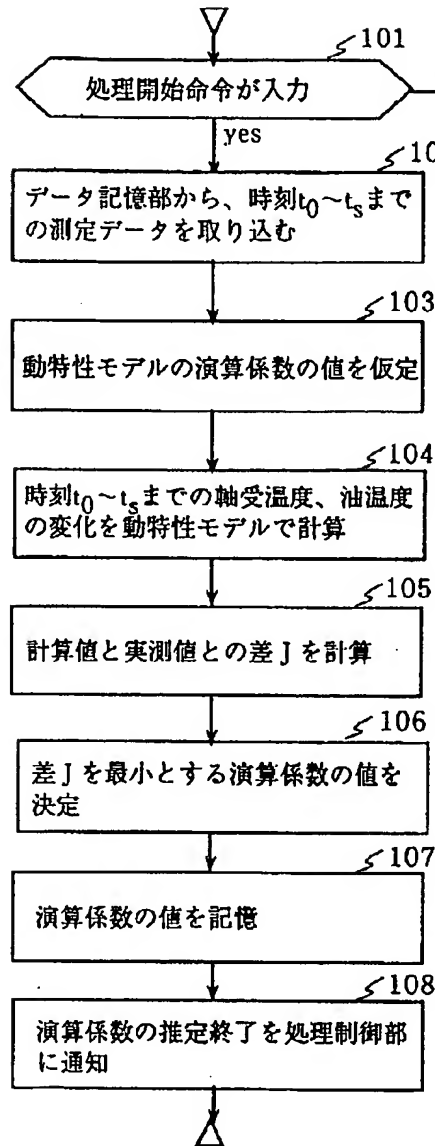


[ 9 ]



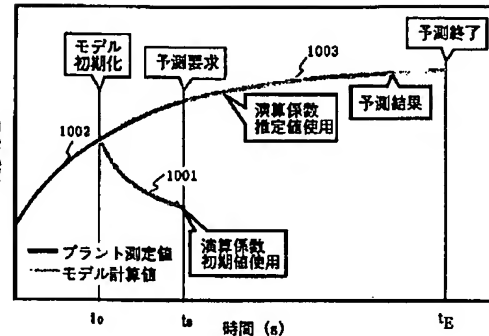
【図6】

【図6】



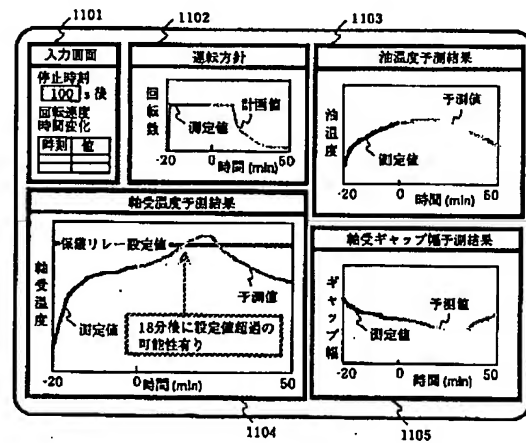
【図13】

【図13】



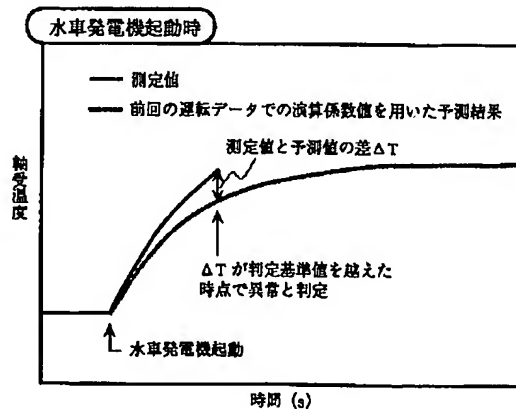
【図14】

【図14】



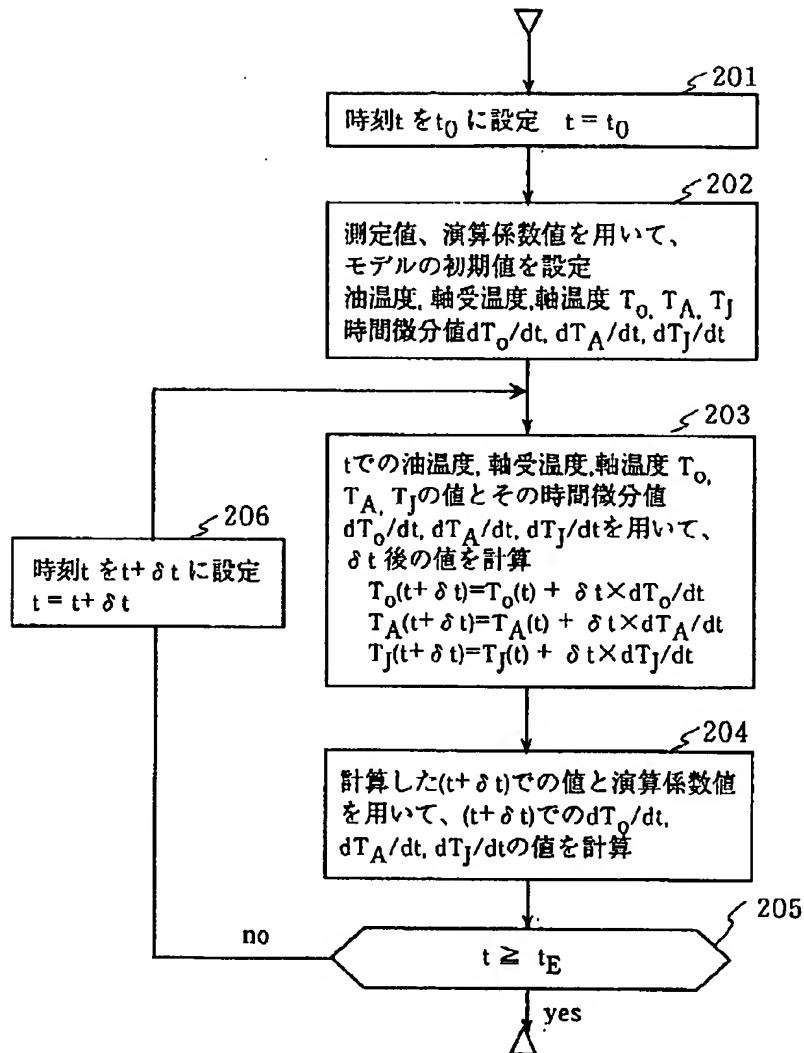
【図15】

【図15】



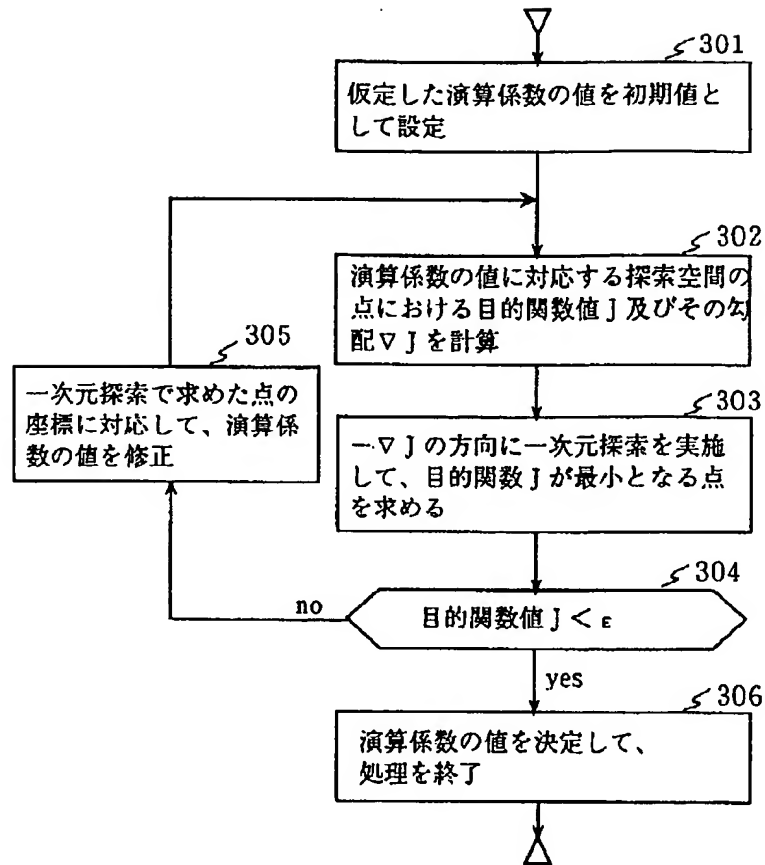
【図 7】

〔 図 7 〕



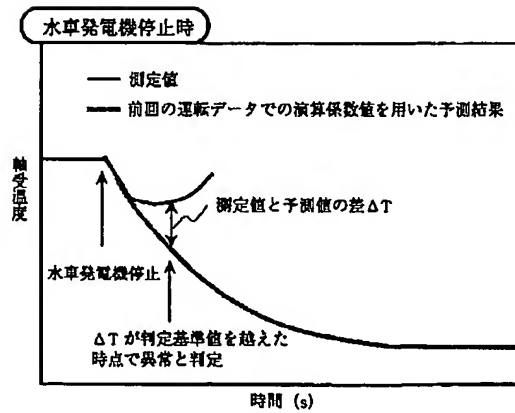
【図10】

【図10】



【図16】

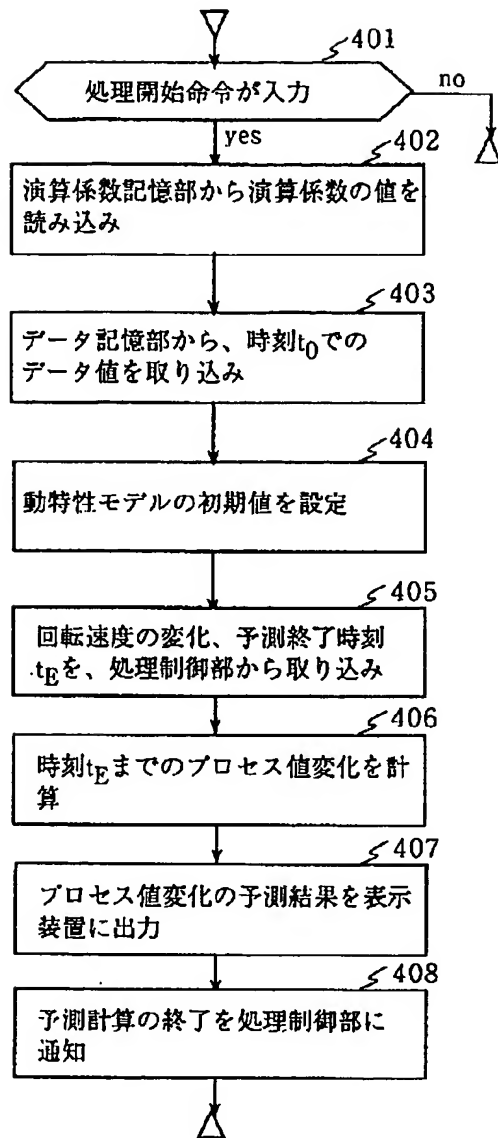
【図16】





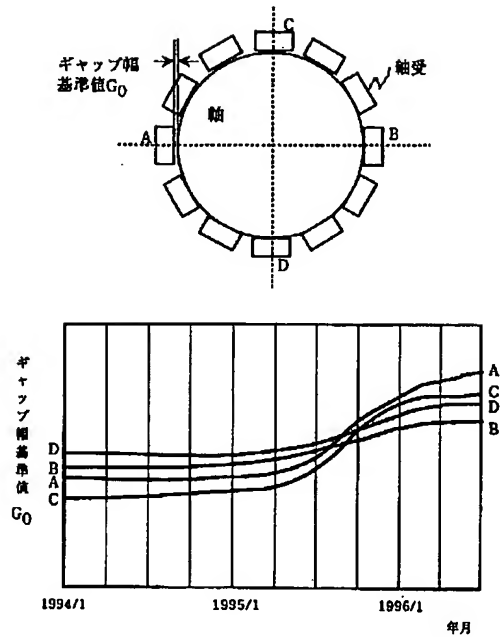
【図11】

【図11】



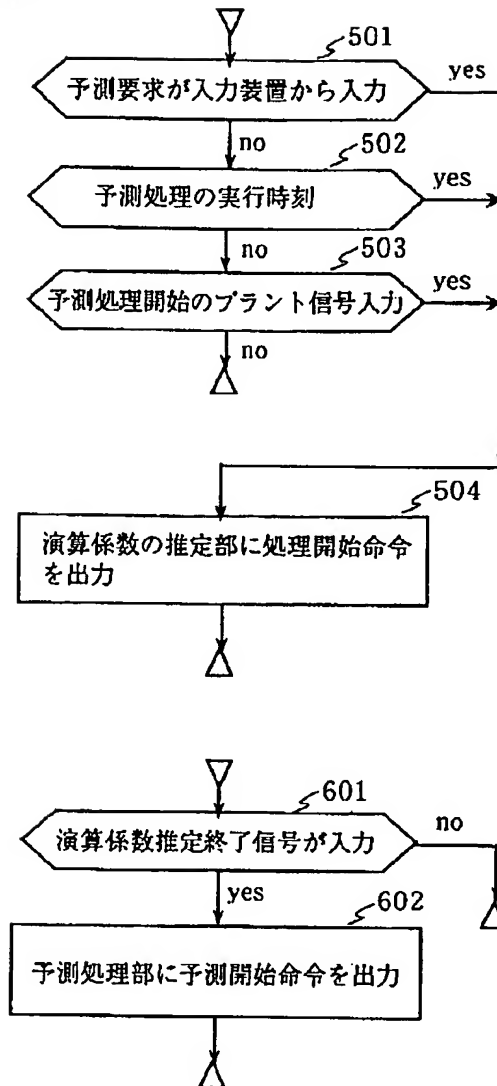
【図17】

【図17】



【図12】

【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 森口 一夫  
茨城県日立市幸町三丁目1番1号 株式会  
社日立製作所日立工場内  
(72)発明者 内田 知伸  
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地  
株式会社日立製作所内  
(72)発明者 山本 潤  
大阪府大阪市北区中之島三丁目3番22号  
関西電力株式会社内

(72)発明者 小門 俊次  
大阪府大阪市北区中之島三丁目3番22号  
関西電力株式会社内  
(72)発明者 中川 博人  
大阪府大阪市北区中之島三丁目3番22号  
関西電力株式会社内  
(72)発明者 本田 誠司  
大阪府大阪市北区中之島三丁目3番22号  
関西電力株式会社内